

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



543175

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
5. August 2004 (05.08.2004)

PCT

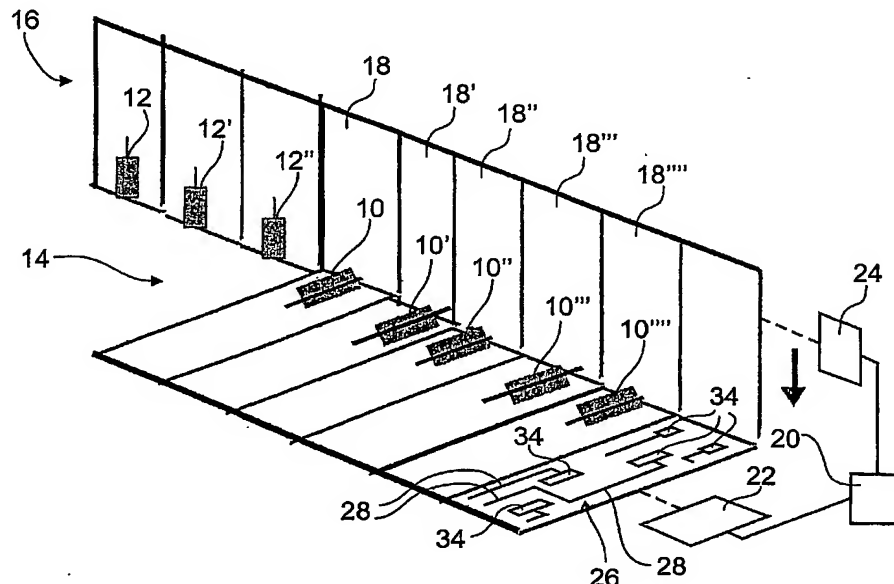
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/066333 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: **H01J**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/000559
- (22) Internationales Anmeldedatum:
23. Januar 2004 (23.01.2004)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
103 02 794.7 24. Januar 2003 (24.01.2003) DE
- (71) Anmelder: NAWOTEC GMBH [DE/DE]; Industriestr. 1,
64380 Rossdorf (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KOOPS, Hans, Wil-
fried, Peter [DE/DE]; Ernst-Ludwig-Strasse 16, 64372
Ober-Ramstadt (DE).
- (74) Anwälte: BORCHERT, Uwe, R. usw.; Postfach 10 12 31,
80086 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING CORPUSCULAR RADIATION SYSTEMS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR HERSTELLUNG VON KORPUSKULARSTRAHLSYSTEMEN



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing corpuscular radiation systems (10-10 "", 12-12 ""), whereby at least one first corpuscular radiation system (10-10 "") is produced on a first substrate (14) by means of computer-controlled, corpuscular radiation-induced deposition, and at least one second corpuscular radiation system (12-12 "") is produced on at least one second substrate (16) by the at least one first corpuscular radiation system (10-10 "") by means of computer-controlled, corpuscular radiation-induced deposition. The inventive method can be used to produce a plurality of corpuscular radiation systems in a relatively short space of time.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

BEST AVAILABLE COPY



TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen (10-10 "", 12-12"), bei dem auf einem ersten Substrat (14) mindestens ein erstes Korpuskularstrahlssystem (10-10 "") mittels Rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter Deposition und auf mindestens einem zweiten Substrat (16) mindestens ein zweites Korpuskularstrahlssystem (12-12 ") von dem mindestens einen ersten Korpuskularstrahlssystem (10-10 "") mittels Rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugt wird. Mit dem erfindungsgemässen Verfahren können eine Vielzahl von Korpuskularstrahlssystemen in relativ kurzer Zeit produziert werden.

22 JUL 2005

5

B E S C H R E I B U N G

10

**Verfahren und Vorrichtung
zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen**

15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen gemäß der im Anspruch 1 angegebenen Art und eine entsprechende Vorrichtung gemäß der im Anspruch 20 angegebenen Art.

20 Korpuskularstrahlssysteme umfassen insbesondere Elektronenstrahl- oder Ionenstrahlssysteme. Im folgenden werden beispielhaft Elektronenstrahlssysteme, deren Anwendungen und Nachteile erläutert. Dies ist jedoch nicht einschränkend zu verstehen. Vielmehr gelten die folgenden
25 Erläuterungen ebenso für andere Korpuskularstrahlssysteme wie beispielsweise die erwähnten Ionenstrahlssysteme.

Elektronenstrahlssysteme werden beispielsweise in der Halbleitertechnologie, Nanoanalytik, Bio-Nano-Physik,
30 Mikro-Optik und Nano-Elektronik eingesetzt. Sie können insbesondere zur Herstellung von Nanostrukturen wie zum Beispiel der Elektronenstrahl-induzierten lithographischen Nanostrukturierung von Oberflächen angewandt wer-

BESTÄTIGUNGSKOPIE

den. Ionen- und Elektronenstrahlsysteme werden auch zur Reparatur von Photomasken, phasenschiebenden Photomasken und NGL-Masken für die Halbleiterindustrie verwendet. Mit Elektronenstrahlen können auch integrierte Schaltungen direkt auf einen Halbleiterwafer geschrieben und auch dort repariert werden. Vorzugsweise wird dies bei integrierten Schaltungen mit Strukturabmessungen im nm-Bereich praktiziert, wo die bisher eingesetzte Optische und Ionenstrahl-Lithographie an physikalische Grenzen stößt.

Ein Elektronenstrahlsystem umfasst eine Vielzahl von elektronischen Komponenten, wie beispielsweise eine Strahlstromstabilisierung, eine Strahlablenkung, eine Fokussierungsautomatik mit Hilfe von programmierten Sequenzen, eine Elektronenstrahl-Ablenkung und -Verstärkung und eine Sekundärelektronenstrahlverstärkung. Diese Komponenten werden bisher überwiegend in Form von Einzelplatinen mit diskreten Schaltkreisen aufgebaut, die derart programmierbar sind, dass die vorgenannten Funktionen ausgeführt werden können.

Um Elektronenstrahlsysteme zu verkleinern, ist es bekannt, Einzelelemente von Elektronenstrahlsystemen mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition aufzubauen, wie beispielsweise der Aufbau von Feldelektronenemittern, Feldemissionskathoden mit Extraktor und Fokussierlinsen sowie von Drahtlinsen für eine elektrostatische Fokussierung und Ablenkung. Die Herstellung einer elektrostatischen Miniaturlinse mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition ist beispielsweise in der DE 44 35 043 A1 beschrieben. Aus der DE 44 16 697 A1 ist es bekannt, für einen flachen

Farbbildschirm parallel eine Vielzahl mikro-
miniaturisierter Elektronenstrahl-Emittersysteme mit
Hilfe einer korpuskularstrahlinduzierten Deposition auf
5 einem mit Leiterbahnen konventionell strukturierten
Grundmaterial aufzubringen.

Zur Miniaturisierung wurden Elektronenstrahlsysteme
auch aus mechanischen Einzelteilen zusammengebaut, die
10 aber nicht mit einer kalten Feldelektronenemission,
sondern einer heißen Elektronenemission betrieben wer-
den. Mittlerweile wurde auch damit begonnen, miniaturi-
sierte Elektronenstrahlsäulen zu bauen. Verschiedene
Forschungsgruppen beschäftigen sich auch damit, Elekt-
15 ronquellen aus Kohlenstoff-Nanoröhren und anderen E-
mittern, wie z.B. dotierte Siliziumspitzen mit transis-
torgesteuertem Emissionsstrom aufzubauen, die auf einem
Halbleiterchip in einer Prozessschrittfolge hergestellt
werden.

20 Nachteilig an den vorgenannten Verfahren ist jedoch,
dass die Erzeugung einer Vielzahl von miniaturisierten
Korpuskularstrahlssystemen sehr lange dauert, d.h. eine
sehr lange Produktionszeit benötigt, da jedes System
25 einzeln sukzessive aufgebaut bzw. erzeugt wird.

Nachteilig ist auch, dass die Herstellungsprozess-
schritte der Halbleiterfertigung so großen Toleranzen
unterliegen, dass eine gleichartige Emissions-
Charakteristik der Feldemitter nicht erreicht wird.

30 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfah-
ren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen und
eine entsprechende Vorrichtung anzugeben, welche den

Aufbau einer Vielzahl von miniaturisierten Korpuskularstrahlssystemen in relativ kurzer Zeit ermöglichen.

5 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen mit den Merkmalen nach Anspruch 1 und durch eine entsprechende Vorrichtung mit den Merkmalen nach Anspruch 20 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

10

Ein wesentlicher Gedanke der Erfindung besteht darin, eine große Anzahl von miniaturisierten Korpuskularstrahlssystemen durch eine Art Selbstreproduktion zu ermöglichen. Dies kann dadurch erreicht werden, dass bereits erzeugte Korpuskularstrahlssysteme zum Erzeugen weiterer Korpuskularstrahlssysteme mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition eingesetzt werden.

20 Beispielsweise können gemäß der Erfindung mit Hilfe der Elektronenstrahl-induzierten Deposition unter Rechnerführung miniaturisierte Elektronenstrahlssysteme in großer Zahl hergestellt werden. Als Basis und Grundlage kann hierbei eine durch Lithographie in VLSI-Technik hergestellte Grundschaltung dienen, in welche hinein mit der Elektronenstrahl-induzierten Deposition die Funktionselemente für ein weiteres miniaturisiertes Elektronenstrahlssystem aufgebaut werden. Dieses miniaturisierte System wird dann, nachdem es eine Funktionsprüfung bestanden hat, weiterverwendet, um wiederum in 30 einen ebenfalls vorher vorbereiteten Basis-Chips hinein durch Elektronenstrahl-induzierte Deposition die funktionellen Elemente für ein gleichartiges Elektronenstrahlssystem aufzubauen. Eine wesentliche Eigenschaft

des Elektronenstrahlsystems besteht darin, einen feinen Elektronenstrahl auf ein Substrat zu fokussieren und dort durch Zufuhr von organometallischen Verbindungen wiederum Strukturen durch Elektronenstrahl-induzierte
5 Deposition zu erzeugen. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Selbstreproduktion von Elektronenstrahlsystemen kann nun in einem ersten Schritt zur Verdoppelung der Anzahl von Elektronenstrahlsystemen den vorher be-
schriebenen Prozess nutzen, a) um eine Tochtergenerati-
10 on von Elektronenstrahlsystemen zu erzeugen und b) um die „Tochter“- Elektronenstrahlsysteme zusammen mit dem „Mutter“- Elektronenstrahlsystem parallel einzusetzen, um daraufhin eine zweite Töchtergeneration von nunmehr
zwei Elektronenstrahlsystemen parallel aufzubauen. Die-
15 se neu aufgebauten Elektronenstrahlsysteme werden dann wieder zu den bereits bestehenden Elektronenstrahlsys-
temen parallel geschaltet, wodurch vier Elektronen-
strahlsysteme erhalten werden, die gemeinsam eingesetzt werden, um in vorbereitete Basis-Chips auf einem Sub-
20 strat Funktionselemente von weiteren vier Elektronen-
strahlsystemen parallel und gleichzeitig aufzubauen, und so fort.

Mit der Erfindung wird die Möglichkeit eröffnet, ein
25 exponentielles Wachstum der Anzahl der Korpusku-
larstrahlsysteme zu erzielen. Beispielsweise werden nach fünf Generationen 32 funktionsfähige miniaturi-
sierte Korpuskularstrahlsysteme erhalten, die erprobt und funktionsbereit sind. Nach zehn Tochtergenerationen
30 sind bereits 1024 derartige miniaturisierte Systeme und nach 20 Tochtergenerationen 1 Mio. funktionierende Kor-
puskularstrahlsysteme erhalten worden. Insbesondere schaltet man die derart erzeugten Korpuskularstrahl-

systeme in einen Block zusammen und setzt sie als Strahlmatrix mit z.B. bis zu 1 Mio. parallel produktiv wirkenden Korpuskularstrahlen ein, so erhält man mit Vorteil neuartige Produktionsgeräte zur Herstellung von in der Einzelherstellung zu teuren neuen Produkten. Dies wird durch die Tatsache verursacht, dass im Einzelstrahl-Herstellungsverfahren die Produkte eine hohe Herstellungszeit haben und damit hohe Herstellungselektronenstrahl-Maschinenkosten von z.B. mehreren Minuten und damit nur unwirtschaftlich hergestellt werden könnten. Beispiele solcher Produkte sind eine Widerstandsmatrix der Detektorelemente für eine flache Kamera für Multimedia-Anwendungen oder eine Emitter- und Extraktor-Anordnung für die Bildpunkt-Strahlungsquellen für flache Feldemitterelektronenquellen, die in Flachbildschirmen Verwendung finden, und die auch mit Vorteil in einem Hochstrom-Schalter mit niedriger Schaltspannung für die Energieübertragungstechnik Anwendung finden.

Konkret betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen, bei dem auf einem ersten Substrat mindestens ein erstes Korpuskularstrahlssystem mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition und auf mindestens einem zweiten Substrat mindestens ein zweites Korpuskularstrahlssystem von dem mindestens einen ersten Korpuskularstrahlssystem mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugt wird.

Anschließend kann auf dem ersten Substrat mindestens ein weiteres erstes Korpuskularstrahlssystem von dem mindestens einen zweiten Korpuskularstrahlssystem mit-

tels korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugt werden.

5 Vorzugsweise werden abwechselnd erste und zweite Korpuskularstrahlssysteme von den bereits auf den Substraten existierenden zweiten bzw. ersten Korpuskularstrahlssystemen erzeugt.

10 Insbesondere werden ein erstes und ein zweites Substrat derart zueinander versetzt angeordnet, dass den auf einem Substrat bereits existierenden Korpuskularstrahlssystemen freie Flächen des anderen Substrats gegenüberliegen, so dass die Korpuskularstrahlssysteme des einen Substrats Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen des anderen Substrats erzeugen können.

15 Um die für die Herstellung erforderliche Genauigkeit zu erzielen, werden die Substrate vorzugsweise von einem Rechner gesteuert positioniert.

20 Eine besonders hohe Positionierungsgenauigkeit ermöglichen Piezoelemente, mit denen insbesondere über einen x-y-z-Verschiebetisch die Substrate zueinander positioniert werden können. Auch mechanische Verschiebetische, 25 die mit Linearmaßstäben in ihrer Bewegung verfolgt werden erfüllen die Präzisionsanforderung für die Platzierung der System-Komponenten.

30 Jedes Korpuskularstrahlssystem wird vorzugsweise nach seiner Erzeugung elektrisch getestet, um mögliche Defekte bereits während des Herstellungsprozesses zu erkennen.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsge-
mäßigen Verfahrens werden vor der Erzeugung von Korpusku-
larstrahlssystemen auf den Substraten Schaltungselemen-
te, insbesondere Verdrahtungselemente erzeugt, mit de-
5 nen die erzeugten Korpuskularstrahlssysteme zumindest
teilweise elektrisch verbunden und angesteuert werden.

Insbesondere werden Korpuskularstrahlssysteme auf An-
schlusspunkten, die auf einem Substrat vorgesehen sind,
10 erzeugt.

Eine besonders effiziente Herstellung kann dadurch er-
zielt werden, dass Korpuskularstrahlssysteme auf einem
Substrat kammartig nebeneinander angeordnet werden.
15 Insbesondere bestehen wegen der geringen Abmessungen
der Systeme Abstände von weniger als 50 µm zwischen den
Systemen.

Dabei werden die Zwischenräume zwischen den Systemen
20 mit Vorteil für die elektrostatische Abschirmung der
Einzelssysteme gegeneinander mit Hilfe von auf definier-
tem Gleichspannungs- oder Wechspannungspotential lie-
genden Elektroden und Leiterbahnen verwendet.

25 Vorzugsweise führen erste und/oder zweite Korpusku-
larstrahlssysteme eine Bildauswertung von Bildsignalen
durch, die durch Rasterung erzeugt werden, um den Pro-
duktionsprozess visuell zu überwachen.

30 Sowohl Fokussierung, Stigmatisierung und Ablenkung ei-
nes Korpuskularstrahls werden vorzugsweise in einem au-
tomatischen Ablauf erfolgen und für jedes Korpusku-

larstrahlssystem kann eine individuelle Fokussierung durchgeführt.

5 Die Deposition wird in einer bevorzugten Ausführungsform mit Ionenstrahlinduzierter Deposition durchgeführt. Alternativ dazu wird die Deposition mit Elektronenstrahlen verwendet.

10 Vorzugsweise erfolgt die Deposition für das erste herzustellende Korpuskularstrahlssystem mit Rastersondenmikroskopischer Deposition mit Niederspannung beispielsweise von etwa 100 V bis etwa 40 kV.

15 Die Korpuskularstrahlssysteme werden vorzugsweise in Gruppen von einem Steuersystem umfassend eine Steuer- und Programmierelektronik angesteuert und kontrolliert.

20 Bis zu einer bestimmten Anzahl ist es vorteilhaft, die Korpuskularstrahlssysteme vollständig konfiguriert aufzubauen und dann durch geeignete Zuführung von Gasen zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlssysteme als parallel arbeitende Blöcke von Korpuskularstrahlssystemen einzusetzen.

25 Insbesondere werden Einzelkämme von Korpuskularstrahlssystemen reproduziert und zu Fertigungssystemen zusammengesetzt.

30 Die Blöcke können hierbei gemeinsam produziert werden, ohne dass sie weiterhin zusammengesetzt werden müssen.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind die Korpuskularstrahlssysteme mit ihren Korpuskularstrahl-

Achsen etwa senkrecht zur Oberfläche des Substrats oder der Substrate angeordnet. Insbesondere umfassen die Korpuskularstrahlsysteme eine oder mehrere Feldemitter-Elektronenquelle(n) mit wenigstens einem Extraktor, 5 welcher als Rundlinse oder Quadrupol aufgebaut ist, und einer Fokussierungslinse, welche ebenfalls als Rundlinse oder Quadrupol aufgebaut ist. Die Anordnung aus den Rundlinsen bzw. Quadrupolen ermöglicht eine Steuerung des Emissions-Stromes, die Fokussierung und die Ablen- 10 kung des Korpuskularstrahles in x-y-Richtung durch eine rechnergesteuerte Einstellung der Versorgungsspannung der Rundlinsen- bzw. Quadrupol-Elektroden.

Insbesondere kann das Rundlinsen- bzw. Quadrupolsystem 15 durch Wahl der Spannungen an den Elektroden den Korpuskularstrahl an- und abschalten. Durch Anlegen der Ablenkspannungen an den Extraktor und die Fokussierlinse wird zudem der Elektronenstrahl zeilenförmig gerastert, im Spiral-Raster oder mit anderen zufälligen 20 oder gezielt gewünschten Koordinaten-Werten oder gezielt von Punkt zu Punkt bewegt.

Vorzugsweise sind um ein Korpuskularstrahlsystem Drähte, die Sekundärelektronen detektieren, und/oder Metall-Flächen angeordnet, welche die von dem Primärstrahl bzw. Korpuskularstrahl auf dem gegenüberliegenden Substrat erzeugten Sekundärelektronen aufnehmen. Die Drähte bzw. Metall-Flächen verstärken die Sekundärelektronen in der Ausführungsform eines offenen Multipliers und führen sie einem Bildsignal-Anzeigegerät 30 synchron zur Ablenkung oder einer Anzeige zu.

Insbesondere werden die Bildsignale und Sekundärsignale der Sekundärelektronen zur Prozeßsteuerung und Bildanzeige verwendet.

5 Die Strahlen der Korpuskularstrahlsysteme werden vorzugsweise zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlsysteme, Tochtersysteme oder Strahlquellen verwendet, die insbesondere auf einer in einem vorgegebenen Abstand angeordneten, über einen x-y-z-Verschiebetisch positionierbaren vorstrukturierten Halbleiterschaltung hergestellt werden. Die Halbleiterschaltung wird hierbei vorzugsweise durch Vorstrukturierung mit Anschlüssen, Depositions-Fusspunkten und Systemelektronik in Form von Halbleiterschaltungen hergestellt.

15

Insbesondere ist eine erzeugte neue Tochterstruktur gleichartig zur Vervielfältigung der Mutter-Anordnung ausgeführt.

20 In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Tochterstruktur andersartig, aber ebenfalls korpuskularstrahl-spezifisch aufgebaut, um andersartige Korpuskularstrahl-Anwendungen in mehrfacher Form auf den Substraten zu erzeugen und zur Funktion zu bringen, z.B. die vom Erfinder patentierten Mikroröhren für Elektronenverstärker im THz-Bereich, für Schaltungen für Bit-Fehler-Raten Messplätze für die Telekommunikation im oberen GHz Bereich oder für Hochstrom-Elektronenquellen für die schnelle leistungsarme Schaltung von sehr hohen Strömen für die Energieverteilung.

25

30

Um die Deposition überall in gleicher Weise zu ermöglichen werden die zur Deposition erforderlichen Gase vorzugsweise zwischen gegenüber angeordneten Substraten mit ausreichend hohem Druck eingebracht.

5

Um zu verhindern, dass bei der Deposition auf der Tochterebene erzeugte Ionen auf der Mutterebene Deponieren, und umgekehrt, wird bei der Wahl der Spannungen in den Systemen Sorge getragen, dass ein Ionenspiegel-Effekt eintritt, welcher diese Ionen von den empfindlichen Strukturen der Mutter-Ebene repsektive Tochterebene fern hält und sie durch Verwendung geeigneter Potentiale gezielt auf dafür vorgesehenen geeigneten Stellen sammelt und unschädlich macht. Solche Stellen sind zum Beispiel Linsenelektroden oder vorgefertigte Auffangflächen, die auf gegenüber dem Auftreff-Ort der Primärelektronen negativem Potential liegen.

10

15

Die Substrate werden vorzugsweise rechnergesteuert gegeneinander verschoben, so dass ebenfalls auf den Substraten befindliche und durch vorstrukturierende Lithographie und Lithographieverfahren hergestellte Teststrukturen es ermöglichen, erzeugte Tochterstrukturen oder Spezialstrukturen in ihrer Eigenschaft zu vermessen und zu kalibrieren.

20

25

Durch Verdoppelung der getesteten und gegebenenfalls durch Reparatur wieder funktionsfähig gemachten Strukturen werden diese in exponentiell wachsenden Zahlen erzeugt.

30

Die vielfach erzeugten Korpuskularstrahlssysteme werden vorzugsweise zur ökonomischen Herstellung von einzel-

nen, von in Gruppen durch Aufteilung der Flächen oder von flächigen Anordnungen derartiger Systeme eingesetzt.

5 Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen mit einem ersten Substrat und mindestens einem zweiten Substrat, wobei sich auf dem ersten Substrat mindestens ein mittels korpuskularstrahlinduzierter De-
10 position erzeugtes erstes Korpuskularstrahlssystem befindet.

Insbesondere sind das erste und das mindestens zweite Substrat derart zueinander versetzt angeordnet, dass
15 den auf einem Substrat bereits existierenden Korpuskularstrahlssystemen freie Flächen des anderen Substrats gegenüberliegen, so dass die Korpuskularstrahlssysteme des einen Substrats Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen des anderen Substrats erzeugen können.

20 In einer bevorzugten Ausführungsform zeichnet sich die Vorrichtung durch einen Rechner aus, der programmtechnisch eingerichtet ist, um die Anordnung der Substrate insbesondere über einen Verschiebetisch in x-y-z-
25 Richtung zu steuern.

Ferner werden vorteilhafterweise Piezoelemente an den Substraten vorgesehen, um diese zueinander mit hoher Präzision elektrisch gesteuert und vermessen zu positionieren.
30 onieren.

Während der Herstellung wird vorzugsweise die Funktionsfähigkeit der Korpuskularstrahlssysteme überprüft

durch vorgesehene Testmittel, wie Bildwiedergabe, elektrische Strom- und Spannungsdetektion und Anzeige, und andere Anzeigen, die zum Testen jedes Korpuskularstrahlsystems auf den Substraten ausgebildet und elektrisch angeschlossen sind.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das erste und zweite Substrat ein Halbleiter, insbesondere Silizium. In diesem Fall werden mittels Halbleiterherstellungsverfahren, wie diese auch zur Produktion von integrierten Schaltungen angewandt werden, elektronische Komponenten auf den Substraten für die Korpuskularstrahlssysteme erzeugt. Falls hohe Spannungen in den Korpuskularstrahlssystemen erforderlich sind, wird mit Vorteil die elektronische Steuer- und Vermessungsschaltung auf einem isolierenden Substrat wie Glas oder Keramik mit Halbleitertechnischen Prozessen hergestellt.

Insbesondere wird vorteilhafterweise das Substrat Schaltungselemente, insbesondere Verdrahtungselemente aufweisen, mit denen Korpuskularstrahlssysteme zumindest teilweise elektrisch verbunden werden.

Die Schaltungselemente sind beispielsweise insbesondere rechnergesteuerte Korpuskularstrahlstromregler, Heizstromregler, Korpuskularstrahlablenkverstärker, Blendenablenkverstärker, Rastergenerator, Funktionsgenerator mit Speicher, Linseneinstellmittel, Linsenspannungsverstärker, Bildsignalverstärker, Astigmatismus-Spannungsverstärker und/oder Ablenkungsspannungsverstärker.

Typischerweise weist ein Substrat mindestens eine Fläche mit einer Breite von etwa 2 μm bis etwa 2500 μm und einer Länge von etwa 10 μm bis zu etwa 100 mm für ein Korpuskularstrahlsystem auf.

5

Ferner weist ein Substrat in einer bevorzugten Ausführungsform Anschlusspunkte für Korpuskularstrahlsysteme auf, beispielsweise metallisierte elektrische Kontaktpunkte zum Anschliessen von Komponenten der Korpuskularstrahlsysteme.

10

Vorzugsweise sind Korpuskularstrahlsysteme auf einem Substrat kammartig nebeneinander angeordnet, was produktionstechnisch besonders vorteilhaft ist, da sich die Substrate Seite an Seite anordnen lassen und alle Korpuskularstrahlsysteme eines Substrats dann zur Erzeugung von Korpuskularstrahlssystemen auf dem gegenüberliegenden ebenfalls kammartigen Substrat gleichzeitig arbeitend eingesetzt werden. Die kammartige Anordnung unterstützt mit Vorteil die Verbindungstechnik unter Verwendung von industriell eingesetzten Platinenstecker-Buchsen zum Prüfen und Betreiben der gefertigten Elemente

15

20

25

In einer bevorzugten Ausführungsform sind mindestens ein erstes und mindestens ein zweites Korpuskularstrahlsystem mit Mess- und Stabilisatorschaltungen versehen, die zum Messen und Stabilisieren von Korpuskularstrahlung dienen.

30

Es werden ferner in einer bevorzugten Ausführungsform Schaltungselemente vorgesehen, welche die Korpuskularstrahlsysteme mit Spannung und Strom versorgen und

es ermöglichen, diese mittels Speicher programmierbar einzustellen. Dies ermöglicht den Aufbau sehr flexibler, da programmierbarer Korpuskularstrahlsysteme.

- 5 Vorzugsweise sind die Korpuskularstrahlsysteme mit Mitteln versehen, die zum Ausführen eines automatisierten Prüfverfahrens ausgebildet sind, welches die Funktionsfähigkeit und Stabilität der Strahlung und der Bildaufnahme und Bildauswertung gewährleistet.

10

- Die Korpuskularstrahlsysteme werden vorteilhafterweise mit bildanzeigenden Mitteln verbunden, die in einem Bildschirm oder Großbildschirm mit entsprechender Bildaufteilung für die einzelnen Korpuskularstrahlsysteme bestehen, so dass die Arbeit des Systems überwacht und sein Ergebnis für anderweitige Weiterverwendung zur Verfügung gestellt wird.
- 15

- Die bildanzeigenden Mittel weisen insbesondere dateninformationsreduzierende Routinen auf, um die Überwachung zu unterstützen und um zu gewährleisten, dass im Wesentlichen nur Fehler gespeichert werden müssen.
- 20

- Vorzugsweise weisen die Korpuskularstrahlsysteme Elektronenquellen oder Gas- oder Flüssigkeitsionenquellen auf.
- 25

- Schließlich betrifft die Erfindung die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens und/oder der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Herstellung von ebenen verteilten Bauelementen, insbesondere einer Widerstandsmatrix für eine flache Kamera, eines Flachbildschirms mit Korpuskularstrahlquellen, von Linsenarrays und einer
- 30

Schreib-/Leseanordnung für einen Speicher, sowie andere bereits oben genannte Anwendungen.

5 Weitere Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in Verbindung mit den in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen.

10 In der Beschreibung, in den Ansprüchen, der Zusammenfassung und in den Zeichnungen werden die in der hinten angeführten Liste der Bezugszeichen verwendeten Begriffe und zugeordneten Bezugszeichen verwendet.

In den Zeichnungen bedeutet:

15

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen sukzessiven Herstellung von miniaturisierten Elektronenstrahlsystemen mit Hilfe vorgefertigter Schaltkreise und Elektronenstrahl-induzierter Deposition zum Aufbau funktionaler Gruppen von Korpuskularstrahlsystemen,

20

25 Fig. 2 eine schematische Darstellung eines einzelnen Elektronenstrahlsystems, das auf einer vorgegebenen Fläche auf einem Substrat durch Elektronenstrahl-induzierte Deposition gemäß der Erfindung aufgebaut wurde,

30

Fig. 3 eine Seitenansicht eines Elektronenstrahlsystems, dessen Strahlachse senkrecht zum Substrat angeordnet ist,

- Fig. 4 eine perspektivische Ansicht des in Fig.3 dargestellten Elektronenstrahlsystems,
- 5 Fig. 5 die verschiedenen Potentiale im Elektronenstrahl, der von dem in den Fig. 3 und 4 dargestellten Elektronenstrahlsystem emittiert wird,
- 10 Fig. 6 eine Draufsicht auf das in Fig. 3 dargestellte Elektronenstrahlsystem,
- Fig. 7 ein Gitter zur Ablenkkalibrierung und daneben ein mittels Elektronenstrahl-Deposition erzeugter Zylinderaufbau zur Bildung eines Faraday-Käfigs zur Strommessung, und
- 15
- Fig. 8 eine Detailansicht des in Fig. 7 dargestellten Gitters mit den in Fig. 7 dragestellten Zylinderaufbauten.
- 20

Im folgenden können gleiche und funktional gleiche Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen sein.

- 25 Eine Besonderheit des erfindungsgemäßen Verfahrens ist durch den Einsatz einer rechnergesteuerten Elektronenstrahl-induzierten Deposition gekennzeichnet. So kann beispielsweise in ca. 20-30 Min. auf einem vorbereiteten ersten Basis-Chip als erstes Substrat, der Stabili-
- 30 sierungs-, Steuer-, Auswertungs- und andere Schaltkreise aufweist, ein miniaturisiertes Elektronenstrahlsystem hergestellt werden. Die hierfür eingesetzte Herstellungstechnik ist eine Reparaturtechnik, welche die

Korrektur und Fehlerbehebung in den deponierten Strukturen ermöglicht. Mit dieser Technik wird ein erstes Elektronenstrahlsystem aufgebaut und danach durch Anlegen von erforderlichen Versorgungsspannungen eingeschaltet. Nach dem Einschalten erfolgt ein elektronischer Test des erzeugten Systems.

Die durch Deposition gefertigten Elemente des ersten Elektronenstrahlsystems wie elektrostatische Linsen und ein Abbildungssystem, das mit einer Strahlablenkung und mit oder ohne einer Aperturblende ausgerüstet ist, ermöglichen eine Fokussierung mit hoher Strahlstromdichte in einem geringen Arbeitsabstand. Dadurch wird es ermöglicht, durch eine Elektronenstrahl-induzierte Deposition weitere Bauelemente von Elektronenstrahlsystemen auf einem zweiten Basis-Chip als zweites Substrat abzuschneiden.

Um ein zweites Elektronenstrahlsystem aufzubauen, wird der zweite Basis-Chip durch mechanische Platzierung bzw. Anordnung gegenüber dem ersten Basis-Chip mit nm-Präzision ausgerichtet. Durch bildverarbeitende Mittel werden dann im Mix- und Match-Verfahren die Elektroden des zweiten Elektronenstrahlsystems auf Nanometer genau platziert auf dem zweiten Basis-Chip hergestellt. So wird ein eine Quelle, einen Kondensor, eventuell eine Blende, ein Ablenksystem, eine Ablenklinse und einen Detektor umfassendes zweites Elektronenstrahlsystem erzeugt, das in seiner Gesamtgröße zwischen 1 und 100 μm lang ist.

Dieses miniaturisierte Elektronenstrahlsystem ermöglicht eine Fokussierung eines Elektronenstrahls durch

die letzte Linse des Systems mit 20 bis 100 eV in einem Arbeitsabstand von einigen μm . Die Fokussierung kann dabei so fein werden wie bei einem herkömmlichen 20 kV-Elektronenstrahlsystem, da Linsenfehler der elektrostatischen miniaturisierten Linsen aus leitenden Drähten sehr viel kleiner sind, als die der herkömmlichen großen elektrischen und magnetischen Linsen in einem 20 kV-Elektronenstrahlsystem. Dementsprechend sind die Bildfehler um Größenordnungen kleiner. Ein derartiges miniaturisiertes Elektronenstrahlsystem ermöglicht daher bei ähnlich großer Apertur eine ähnliche Auflösung wie bei einem herkömmlichen etwa 1 m großen Elektronenstrahlsystem.

Die erfindungsgemäße Herstellung vieler miniaturisierter Elektronenstrahlsysteme wird mit Vorteil durch eine roboterartige Führung der Substrate, auf denen die Systeme aufgebaut werden, verbessert. Hierzu gibt es zwei unterschiedliche Verfahren.

Bei einem ersten Verfahren wird ein herkömmliches Raster-Elektronenstrahlsystem verwendet, das mit einer speziellen mehrkanaligen Gaszuführung zur Lieferung von Präkursoren für die Deposition ausgerüstet ist. Das Raster-Elektronenstrahlsystem erzeugt auf einem spezifischen Basis-Chip eines ersten Substrats für ein herzustellendes Elektronenstrahlsystem eine Elektrodenkonfigurationen, eine Elektronenquelle, eventuell eine Blende, eine Ablenklinse und einen Detektor durch Aufwachsen in vorbereitete Anschlusspunkte des spezifischen Basis-Chips. Dieses Elektronenstrahlsystem wird nun verwendet, um auf einem weiteren vorbereiteten Basis-Chip auf gleiche Weise, nämlich durch Depositions-

- Schreiben senkrecht zum Substrat ein zweites Elektronenstrahlssystem aufzubauen. Beide Chips werden dann parallel angeordnet, mit Spannung versorgt und zu einer Doppelschreibereinheit verbunden. Mit einem derartigen Doppelsystem können zwei weitere Elektronenstrahlssysteme aufgebaut werden. Insgesamt können so 2^n Elektronenstrahlssysteme bei n Systemgenerationen hergestellt werden.
- Ein zweites Verfahren besteht darin, auf einem ersten, kammartigen Substrat, das eine Vielzahl von kammartig angeordneten Basis-Chips aufweist, mit einem Raster-Elektronenstrahlssystem ein erstes Elektronenstrahlssystem auf einem der Basis-Chips zu erzeugen. Dem ersten Substrat wird dann ein zweites, ähnlich kammartig ausgebildetes Substrat gegenübergestellt, genauer gesagt in einem Winkel von etwa 90° zum ersten Substrat angeordnet. Das zweite Substrat wird dann mechanisch relativ zum ersten Substrat derart bewegt, dass mittels des ersten Elektronenstrahlssystems auf dem ersten Substrat die Elektronenquelle, die Elektroden und weitere Systemfunktionselemente eines zweiten Elektronenstrahlssystems auf dem zweiten Substrat erzeugt werden.
- Wenn dieses zweite „Tochter“-Elektronenstrahlssystem erzeugt ist, wird es ebenfalls wie das erste Elektronenstrahlssystem mit Strom versorgt und dazu benutzt, um auf einem zweiten Basis-Chip des ersten Substrats ein weiteres erstes Elektronenstrahlssystem aufzuschreiben, nachdem das erste Substrat mechanisch relativ zum zweiten Substrat derart angeordnet worden ist, dass dem zweiten „Tochter“-Elektronenstrahlssystem eine freie Fläche bzw. ein Basis-Chip gegenüberliegt.

Danach befinden sich auf dem ersten Substrat zwei parallel angeordnete Elektronenstrahlsysteme, die wiederum zum Erzeugen zweier zweiter Elektronenstrahlsysteme auf dem zweiten Substrat verwendet werden. Hierzu schreiben die beiden parallelen Elektronenstrahlsysteme des ersten Substrats auf das etwa rechtwinklig zum ersten Substrat angeordnete zweite Substrat zwei weitere Systeme, so dass sich auf dem zweiten Substrat insgesamt drei Systeme befinden. Diese drei Elektronenstrahlsysteme werden wiederum dazu verwendet, auf das erste Substrat zusätzliche drei Elektronenstrahlsysteme zu erzeugen, so dass sich insgesamt fünf Systeme auf dem ersten Substrat befinden.

In Fig. 1 sind ein erstes und ein zweites Substrat 14 bzw. 16 dargestellt, auf denen sich erste bzw. zweite miniaturisierte Elektronenstrahlsysteme 10, 10', 10'', 10''', 10'''' bzw. 12, 12', 12'' befinden. Die beiden Substrate 14 und 16 sind kammartig ausgebildet, d.h. sie haben eine etwa rechteckförmige Ausbildung und sind in freie Flächen entsprechend Basis-Chips aufgeteilt, welche für Elektronenstrahlsysteme vorgesehen sind. Die Substrate 14 und 16 sind in einem Winkel von etwa 90° zueinander angeordnet. Ihre Position wird von einem (Steuer-)Rechner 20 kontrolliert, der Piezoelemente 22 und 24 zum exakten Ausrichten der Substrate 14 und 16 ansteuert. Damit ist eine Positionierung der Substrate 14 und 16 möglich, aber mit nm- Genauigkeit.

Die Elektronenstrahlsysteme 10-10'''' und 12-12'' wurden gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren folgendermaßen erzeugt: zuerst wurde mit einem nicht dargestellten

Raster-Elektronenschreiber das erste Elektronenstrahl-
system 10 auf dem ersten Substrat 14 mittels Elektro-
nenstrahl-induzierter Deposition hergestellt. Anschlie-
ßend wurde das zweite Substrat 16 vom Rechner 20 über
5 das Piezoelement 24 derart zum ersten Substrat 14 aus-
gerichtet, dass der Basis-Chip für das zweite Elektro-
nenstrahlssystem 12 gegenüber dem ersten Elektronen-
strahlssystem 10 angeordnet war. Danach erzeugte das
erste Elektronenstrahlssystem 10 das zweite Elektronen-
10 strahlssystem 12. Das zweite Elektronenstrahlssystem 12
wurde nach Fertigstellung in Betrieb genommen und er-
zeugte nach erfolgreichem Test das erste Elektronen-
strahlssystem 10' neben dem Elektronenstrahlssystem 10
auf dem ersten Substrat, nachdem der entsprechende Ba-
15 sis-Chip des ersten Substrats 14 gegenüber dem zweiten
Elektronenstrahlssystem 12 plaziert worden war. Die bei-
den nebeneinander liegenden Elektronenstrahlssysteme 10
und 10' wurden dann zum gleichzeitigen Erzeugen der E-
lektronenstrahlssysteme 12' und 12'' nach entsprechender
20 Positionierung der beiden Substrate 14 und 16 erzeugt.
Schließlich deponierten die so erzeugten nebeneinander
angeordneten drei Elektronenstrahlssysteme 12-12'' die
Elektronenstrahlssysteme 10''-10''' gleichzeitig. In
einem nächsten Schritt werden dann die Elektronen-
25 strahlssysteme 10-10''' gleichzeitig fünf (nicht darge-
stellten) Elektronenstrahlssysteme auf dem zweiten Sub-
strat 16 erzeugen. Die beiden Substrate 14 und 16 sind
hierfür bereits entsprechend positioniert. Die Basis-
Chips bzw. freien Flächen 18-18''' für die zu erzeu-
30 genden Elektronenstrahlssysteme auf dem zweiten Substrat
sind noch frei.

Eine weitere freie Fläche am rechten Rand des ersten Substrats 14 zeigt schematisch Schaltungselemente 26, die für ein Elektronenstrahlsystem vorgesehen sind. Die Schaltungselemente 26 umfassen Verdrahtungselemente 28, insbesondere Leiterbahnen, und Anschlusspunkte 34, insbesondere freie Metallflächen. Die Anschlusspunkte 34 dienen zum Aufwachsen von Strukturen eines Elektronenstrahlsystems, beispielsweise von Linsen und Blenden. Die Verdrahtungselemente 28 dienen zum elektrischen Verbinden von einem Elektronenstrahlsystem mit weiteren (nicht dargestellten) Schaltungselementen, beispielsweise Strom- oder Spannungsquellen.

In Fig. 2 ist ein vollständiges Elektronenstrahlsystem 30 auf einer Fläche 32 eines Substrats dargestellt, wie es durch das erfindungsgemäße Verfahren auf einem Basis-Chip erzeugt wurde. Der von dem System 30 erzeugte Elektronenstrahl trifft auf ein Objekt 36, das beispielsweise ein weiterer Basis-Chip eines Substrats sein kann, auf dem ein weiteres Elektronenstrahlsystem aufgebaut werden soll. Das Objekt 36 ist etwa in einem Winkel von 90° zum System 30 angeordnet und befindet sich etwa im Brennpunkt des Elektronenstrahls 34.

Das dargestellte Elektronenstrahlsystem 30 umfasst einen Emitter 38 sowie eine Blende und ein Linsensystem 40 mit einer Extraktor-Linse aus zwei ringförmigen Elektroden. Eine Blende ist nicht gezeigt. Diese müsste in dem Raum zwischen Extraktorlinse und Ablenklinse angeordnet sein. Wegen der Anordnung der Feldelektrodenquelle als Superspitze auf dem Emitterträger kann es ausreichen, die auf einen Emissionsort begrenzte Emission ohne zusätzliche Blende vollständig zu verwenden.

den, da dies durch die kleinen Linsenfehler der Extraktorlinse ermöglicht ist, ohne die Quelle in ihrer Größe und Emittanz wesentlich zu verschlechtern. Zudem kann der Fokus des Strahls durch den Rundlinsenteil der Ablenklinse geregelt werden. Ein derartiges Elektronenstrahlssystem 30 wird dazu verwendet, ein „Tochter“- Elektronenstrahlssystem auf dem Objekt 36 mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition gemäß der Erfindung zu erzeugen.

10

Mit den oben beschriebenen Verfahren entsteht eine spezielle mathematische Reihe von Wachstumszahlen und von Elektronenstrahlssystemen, welche auch ähnlich dem exponentiellen Wachstum zu einer Reproduktion von vielen Elektronenstrahlssystemen führt. Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass zwei funktionsfähige Substrate sukzessive mit Elektronenstrahlssystemen ergänzt aufgefüllt werden, und zum Schluss sehr schnell voll gefüllte Substrate mit Elektronenstrahlssystemen erhalten werden. Um beispielsweise 64 oder 1024 oder gar 1 Mio. von miniaturisierten Elektronenstrahlssystemen zu erhalten, können die Substrate mit ihren parallel arbeitenden Elektronenstrahlssystemen als ganzes eingesetzt werden und neue „Tochter“- Elektronenstrahlssysteme auf einem neuen Substrat gleichzeitig herstellen.

Das zweite Verfahren hat gegenüber dem ersten Verfahren den Vorteil, dass die Substrate mit Elektronenstrahlssystemen nicht in Einzelelemente zerschnitten werden müssen. Ausserdem ist mit Vorteil die Verdrahtung der Versorgungsspannungen und anderer parallel ablaufender elektrischer Steuerungs-Schritte mit in das Substrat

30

bei der Herstellung integriert. Damit wird das Packaging von Einzelkomponenten vermieden und die Zuverlässigkeit der Anordnung wesentlich erhöht.

5 In Fig. 3 ist ein erstes Elektronenstrahlsystem 10 auf einem ersten Substrat 14 in seitlicher Ansicht dargestellt, dessen durch eine gestrichelte Linie angedeuter Elektronenstrahl etwa senkrecht zum Substrat 14 verläuft. Der Elektronenstrahl des ersten Systems 10
10 baut auf einem zweiten Substrat 16, das dem ersten Substrat 14 gegenüberliegt, ein zweites Elektronenstrahlsystem 12 mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition auf. Zwischen den beiden plattenförmigen Substraten 14 und 16 befindet sich ein Gas, dessen Gaspartikel
15 58 für die Deposition erforderlich sind. Das Gas weist einen für die Deposition ausreichend hohen Druck zwischen den Substraten 14 und 16 auf.

Das erste Elektronenstrahlsystem 10 umfasst eine feine
20 Metallspitze als Emitter 38 für Elektronen. Weiterhin weist das erste System 10 einen ersten Quadrupol mit den Quadrupol-Elektroden 44 und einen zweiten Quadrupol mit den Quadrupol-Elektroden 50 und 52 auf. Die entsprechend zum Quadrupol gehörigen weiteren zwei Elektroden in der zur Zeichenebene senkrechten Ebene durch
25 die Strahlachse sind nicht gezeichnet, werden aber in den folgenden Figuren 4 im Schrägbild für den ersten Quadrupol und in Figur 6 mit ihren Fußpunkten an den Endpunkten der Anschlussleiterbahnen 43, 44, 46, 48 und
30 50 - 56 in der Anschlussstruktur dargestellt. Der erste Quadrupol 43, 44, (46, 48 nicht gezeigt) dient als Extraktor, um die vom Emitter 38 emittierten Elektroden zu beschleunigen. Der zweite Quadrupol 50, 52, (54, 56

nicht gezeigt) ist in Richtung vom ersten zum zweiten Substrat 14 bzw. 16 hinter dem ersten Quadrupol 43, 44 angeordnet und dient als Fokussierungslinse für den Elektronenstrahl. Mittels einer rechnergesteuerten Einstellung der Versorgungsspannung der Elektroden der beiden Quadrupole 43, 44, 50, 52 wird der Emissionsstrom des Emitters 38, die Fokussierung und Ablenkung des Elektronenstrahls in x-y-Richtung ermöglicht, wobei die x-y-Ebene etwa parallel zu den Ebenen liegt, in welchen sich die Substrate 14 und 16 befinden. Fig. 4 zeigt das in Fig. 3 dargestellte erste Elektronenstrahlsystem 10 in perspektivischer Ansicht. Neben den Elektroden 50, 52, 54, 56 des zweiten Quadrupols ist der Emitter 38 zu erkennen. Der erste Quadrupol von Fig. 3 ist in dieser Ansicht nicht dargestellt.

Fig. 5 zeigt das Potential eines von einem Emitter 38 emittierten Elektronenstrahls. An der Spitze des Emitters 38 herrscht ein Potential Q1. Wenn der Elektronenstrahl aus dem Elektronenstrahlsystem austritt weist er ein Potential Q2 auf, das im Wesentlichen vom zweiten Quadrupol bestimmt wird. Der Elektronenstrahl trifft auf das zweite Substrat 16 mit einem Bremspotential auf. Diese Verzögerung der Primärelektronen bewirkt eine Beschleunigung der aus dem Substrat ausgelösten Sekundärelektronen und bremst die dort ausgelösten Ionen, so dass sie nicht die Feldemissionskathode erreichen können. In einer weiteren vorteilhaften Ausführung können die Potentialwerte Q1 und Q2 auch vertauscht sein und dennoch das Bremspotential erhalten bleiben.

In Fig. 6 ist das Elektronenstrahlsystem 10 in Draufsicht dargestellt. In dieser Darstellung sind alle

Elektroden des Systems zu erkennen. Der erste Quadrupol wird durch die Elektroden 43, 44, 46, 48 und der zweite Quadrupol durch die Elektroden 50, 52, 54, 56 gebildet. Die Ansteuerung der Elektroden ist beispielhaft für die
5 Elektrode 48 dargestellt. Sie umfasst für die Elektrode 48 eine einstellbare Spannungsquelle 60, die über ein Strom-Messgerät 62 mit der Erde verbunden ist. Über die einstellbare Spannungsquelle 62 kann das Potential der Elektrode 48 eingestellt werden. Die Elektroden 50, 52,
10 54 und 56 werden auch als Fänger für Sekundärelektronen verwendet. Alle Signale der Elektroden 50, 52, 54 und 56 werden mit einem Summierverstärker anstelle dem Einzelnen Strom-Messgerät pro Elektrode, wie bei 48 exemplarisch dargestellt, addiert und zur Bildauswertung
15 verwendet. Damit kann der Aufbau des zweiten Elektronenstrahlsystems 12 auf dem zweiten Substrat 16 visuell überwacht werden, indem ein mit der x-y Ablenkung synchron laufender Schreibstrahl einer Bildwiedergaberöhre in seiner Helligkeit mit dem verstärkten Sekundärelektronensignal moduliert wird.
20

Fig. 7 zeigt ein Gitter 64 zur Ablenkkalibrierung von Elektronenstrahlen. Dieses Gitter 64 kann auch zur Messung des Astigmatismus durch ein Moiré-Verfahren eingesetzt werden, indem die Elektronensonde unter einem
25 sehr kleinen Winkel zur Gittersteg-Kante geführt wird und aus der Zahl der im Sekundärelektronensignal sichtbaren Querstege auf den benötigten Weg geschlossen wird, um die Sonde ganz auf den Steg zu fahren oder
30 ganz vom Steg zu bewegen. Die Auflösung des Verfahrens ist proportional zu $1 / \text{Winkel}$ zwischen Sondenbewegungsrichtung und Gittersteg. Wie mit dem Gitter eine Messung und Kalibrierung des Astigmatismus erfolgt, ist

in der Veröffentlichung „Metrology-Chip for Measurement of Diameter and Astigmatism of an Electron Beam with nm Resolution Using Moiré Amplification“, H.W.P. Koops, B.Hübner, M.Watanabe, Microelectronic Engineering 23 (1994) S.387-390, genauer beschrieben. Das Gitter 64, das Quer- und Längsstäbe 66 bzw. 68 umfasst, ist auf einem Substrat angeordnet und dient im wesentlichen als Kalibriermuster und Detektorfläche zur Strommessung. Es weist den in Fig. 7 rechts neben dem Gitter 64 dargestellten Zylinder 70 auf. Der Zylinder 70, dessen Höhe sehr viel größer als sein Durchmesser ist, ist mittels Deposition erzeugt worden. Der Zylinder bildet einen Faraday-Käfig zur Strommessung und ist hierzu mit Leiterbahnen 72 des Gitters 64 kontaktiert.

Die in Fig. 8 dargestellte Detailansicht des Gitters 64 zeigt, wie die Zylinder 70 im Gitter angeordnet sind.

Das Wachstum der Vielzahl von Elektronenstrahlsystemen gemäß der Erfindung ermöglicht den Einsatz vieler lokal, separat geführter Elektronenstrahlsysteme für die Fertigung mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition. Durch die Größe dieser miniaturisierten Systeme wird eine Strahldichte im Bereich von etwa 250 μm und darunter als Strahlabstand längs eines kammförmigen Substrats erreicht. Durch Aufeinanderlegen von derartig mit Elektronenstrahlsystemen versehenen Substraten wird ein Abstand der Strahlen senkrecht zum Kamm von wiederum z.B. etwa 250 μm erreicht, bzw. der die Steuerelektronik tragenden Halbleiterdicke. Das entspricht der Dicke eines Silizium-Wafers, aus welchen die Substrate mit Basis-Chips gefertigt wurden. Diese Strahldichte von etwa 250 x 250 μm Abstand in einer Fläche von etwa

30 mm x 30 mm ermöglicht 1440 Strahlen, die zur Herstellung von eben verteilten Bauelementen, die mit einem derartigen Rastermaß gebraucht werden, eingesetzt werden.

5

Beispielsweise kann die Rastermatrix zur Herstellung einer Widerstandsmatrix für eine flache Kamera mit Elektronenstrahl-induzierter Deposition eingesetzt und diese in Massenproduktion hergestellt werden. Eine weitere vorteilhafte Anwendung derartiger Parallelstrahl-Systeme dient der Herstellung von Flachbildschirmen mit Elektronenquellen. Die Elektronenquellen bestehen hierbei je aus Emitter und Extraktor. Damit müssen nur zwei Drahtelektroden hergestellt werden, von welchen eine eine feine Spitze hat. Dies gilt auch für die Herstellung von Linsenarrays durch Elektronenstrahlbelichtung und anderen eben in einem Rastermaß geforderten Depositions- und Belichtungsstrukturen. Zum weiteren können derartige Systeme, da sie eigenständige Detektoren beinhalten, auch zum Vermessen von Strukturen in paralleler Anordnung der Elektronenstrahlen verwendet werden. Auf diese Weise kann der Durchsatz der Elektronenstrahlmesstechnik in der Halbleiterfertigung mit hoher Auflösung vervielfacht werden.

25

Zudem ist das Schreiben von Elektronenstrahllithographiestrukturen mit viel höherer Schreibgeschwindigkeit mit einem mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Elektronenstrahlsystem-Array möglich, da verhindert wird, dass der Gesamtelektronenstrom durch eine Optik fließt. Bei den im Raster angeordneten Elektronenstrahlssystemen fließt dagegen der Elektronenstrahlstrom durch 2^n Optiken (wenn n Generationen von Elekt-

30

- ronenstrahlssystemen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gemäß dem oben beschrieben ersten oder zweiten Verfahren hergestellt wurden). Dadurch kann man die Schreibzeit t auf $t/2^n$ verringern, was für die Großflächenlithographie insbesondere für Nanostrukturen von großem Vorteil ist, beispielsweise beim direkten Schreiben von Masken oder Wafer-Belichtungen für die Produktion von integrierten Schaltungen.
- 10 Eine weitere vorteilhafte Anwendung der Vielzahl von Elektronenstrahlssystemen liegt in der Speichertechnik. Dazu werden Elektronenstrahlssysteme so aufgebaut, daß sie durch Ablenkung ihres Elektronenstrahls in einem Rasterfeld von beispielsweise etwa $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$ die
- 15 Speicherelemente, zum Beispiel elektrische oder magnetische Speicherzellen-Elemente von etwa 30 nm Durchmesser herstellen und auch ansprechen können. Durch geeignete Auswertung der Strahl-Antwort in Form von rückgestreuten oder gespiegelten Elektronen kann der Speicherzelleninhalt gelesen und eine Speicherung der Information ohne die Verwendung beweglicher Teile ermöglicht werden. In der Fläche von etwa $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$ können sich beispielsweise 9 Millionen Speicherzellen befinden. Mit z.B. 1000 parallel arbeitenden Elektro-
- 20 nenstrahlssystemen, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wurden, wären 9 Gbit ansprechbar. Zudem kann durch die Verwendung von parallel arbeitenden Schreib- und Lesestrahlen die Datenübertragungsrate gegenüber herkömmlichen Speichersystemen wie beispielsweise DRAM-Chips oder auch Festplatten erhöht werden. Gleichzeitig wird der Einsatz mechanisch bewegter Teile vermieden, was die Zuverlässigkeit der Anordnung erhöht.
- 30

5

B E Z U G S Z E I C H E N L I S T E

10	10-10''''	erste Elektronenstrahlssystem
	12-12''	zweite Elektronenstrahlssysteme
	14	erstes Substrat
	16	zweites Substrat
	18-18''''	freie Flächen
15	20	Rechner
	22, 24	Piezoelemente
	26	Schaltungselemente
	28	Verdrahtungselemente
	30	Elektronenstrahlssystem
20	32	Fläche
	34	Anschlusspunkte
	36	Objekt
	38	Emitter
	40	Linsensystem
25	42	Extraktor-Linse
	43	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
	44	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
30	46	Elektrode des ersten Quadrupols (Extrak- tor-Linse)
	48	Elektrode des ersten Quadrupols (Extrak- tor-Linse)

	50	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokussier- und Ablenk-Linse)
	52	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokussier- und Ablenk-Linse)
5	54	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokussier- und Ablenk-Linse)
	56	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokussier- und Ablenk-Linse)
	58	Gaspartikel
10	60	einstellbarer Spannungsquelle
	62	Strom-Messgerät
	64	Gitter
	66	Querstäbe
	68	Längsstäbe
15	70	Zylinder (Faraday-Käfig)
	72	Leiterbahn

5

P A T E N T A N S P R Ü C H E

- 10 1. Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahl-
systemen (10-10''', 12-12''), bei dem auf einem
ersten Substrat (14) mindestens ein erstes Kor-
puskularstrahlssystem (10) mittels korpusku-
larstrahlinduzierter Deposition und auf mindes-
15 tens einem zweiten Substrat (16) mindestens ein
zweites Korpuskularstrahlssystem (12) von dem
mindestens einen ersten Korpuskularstrahlssystem
(10) mittels rechnergeführter korpuskularstrah-
linduzierter Deposition erzeugt wird.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeich-**
net, dass anschliessend auf dem ersten Substrat
(14) mindestens ein weiteres erstes Korpusku-
larstrahlssystem (10') von dem mindestens einen
25 zweiten Korpuskularstrahlssystem (12) mittels
rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter
Deposition erzeugt wird.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch ge-**
kennzeichnet, dass abwechselnd erste und zweite
Korpuskularstrahlssysteme (12', 12'', 10'',
10''', 10''') von den bereits auf den Substra-

ten (14, 16) existierenden zweiten bzw. ersten Korpuskularstrahlssystemen erzeugt werden.

5 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste und das zweite Substrat (14, 16) derart zueinander versetzt angeordnet werden, dass den auf einem Substrat (14) bereits existierenden Korpuskularstrahlssystemen (10-10''') freie Flächen (18-18''') des anderen Substrats (16) gegenüberliegen, so dass die Korpuskularstrahlssysteme (10-10''') des einen Substrats (14) Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen (18-18''') des anderen Substrats (16) erzeugen können.

20 5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Substrate (14, 16) von einem Rechner (20) gesteuert positioniert werden.

25 6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Substrate (14, 16) mittels Piezoelementen (22, 24) zueinander positioniert werden.

30 7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedes Korpuskularstrahlssystem (10-10''', 12-12'') nach seiner Erzeugung elektrisch getestet wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Erzeugung von Korpuskularstrahlssystemen auf den Sub-

straten Schaltungselemente (26), insbesondere Verdrahtungselemente (28) erzeugt werden, mit denen Korpuskularstrahlsysteme zumindest teilweise elektrisch verbunden werden.

5

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Korpuskularstrahlsysteme auf Anschlusspunkten (34), die auf einem Substrat (14) vorgesehen sind, erzeugt werden.

10

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Korpuskularstrahlsysteme auf einem Substrat kammartig nebeneinander angeordnet werden.

15

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass erste und/oder zweite Korpuskularstrahlsysteme eine Bildauswertung von Bildsignalen, die durch Rasterung erzeugt werden, durchführen.

20

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sowohl Fokussierung, Stigmatisierung und Ablenkung eines Korpuskularstrahls in einem automatischen Ablauf erfolgen und für jedes Korpuskularstrahlsystem eine individuelle Fokussierung durchgeführt wird.

25

30

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deposition mit rechnergeführter Ionenstrahl-induzierter o-

der Elektronenstrahl-induzierter Deposition durchgeführt wird.

- 5 14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deposition für das erste herzustellende Korpuskularstrahl-system mit rechnergeführter rastersondenmikro-skopischer Deposition mit Niederspannung von et-wa 100 V bis etwa 40 kV erfolgt.
- 10 15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Korpusku-larstrahlssysteme in Gruppen von einem Steuersys-tem umfassend eine Steuer- und Programmierелеk-tronik angesteuert und kontrolliert werden.
- 15 16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Korpusku-larstrahlssysteme bis zu einer bestimmten Anzahl
- 20 vollständig konfiguriert aufgebaut und dann durch geeignete Zuführung von Gasen zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlssysteme als parallel arbeitende Blöcke von Korpuskularstrahlssystemen verwendet werden.
- 25 17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch ge-kennzeichnet**, dass Einzelkämme von Korpusku-larstrahlssystemen reproduziert und zu Ferti-gungssystemen zusammengesetzt und konfiguriert
- 30 werden.
18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch ge-kennzeichnet**, dass die Blöcke gemeinsam produ-

ziert werden, ohne dass sie weiterhin zusammen-
gesetzt werden müssen.

- 5 19. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Korpuskularstrahlssysteme (siehe Figuren 3 bis 6) mit ihren Strahlachsen etwa senkrecht zur Oberfläche des Substrats angeordnet sind.
- 10 20. Vorrichtung zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen (10-10'', 12-12''), mit einem ersten Substrat (14) und mindestens einem zweiten Substrat (16), wobei sich auf dem ersten Substrat (14) mindestens ein mittels Rechnerge-
15 führter Korpuskularstrahl-induzierter Deposition erzeugtes erstes Korpuskularstrahlssystem (10-10'') befindet.
- 20 21. Vorrichtung nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste und das mindestens zweite Substrat (14, 16) derart zueinander versetzt angeordnet sind, dass den auf einem Substrat (14) bereits existierenden Korpuskularstrahlssystemen (10-10'') freie Flächen (18-
25 18'') des anderen Substrats (16) gegenüberliegen, so dass die Korpuskularstrahlssysteme (10-10'') des einen Substrats (14) Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen (18-18'') des anderen Substrats (16) erzeugen können.
30
22. Vorrichtung nach Anspruch 20, **gekennzeichnet durch** einen Rechner (20), der programmtechnisch

eingerrichtet ist, um die Anordnung der Substrate (14, 16) zu steuern.

- 5 23. Vorrichtung nach Anspruch 21, **gekennzeichnet**
 durch Piezoelemente (22, 24) an den Substraten
 (14, 16), um diese rechnergeföhrt und nach Bild-
 auswertung der Abbildung der freien Fußpunkte
 zueinander zu positionieren.
- 10 24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22,
 gekennzeichnet durch Testmittel, wie Bildwieder-
 gabe, elektrische Strom- und Sekundärelektronen-
 detektion und Anzeige, und andere Anzeigen, die
 zum Testen jedes Korpuskularstrahlssystems (10-
15 10'', 12-12'') auf den Substraten (14, 16)
 ausgebildet sind.
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23,
 dadurch gekennzeichnet, dass das erste und zwei-
20 te Substrat (14, 16) ein Halbleiter, insbesonde-
 re Silizium ist.
26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23,
 dadurch gekennzeichnet, dass das erste und zwei-
25 te Substrat (14, 16) ein Nichtleiter, insbeson-
 dere Glas, Keramik oder Quartz ist.
27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 24,
 dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat Schal-
30 tungselemente (26), insbesondere Verdrahtungs-
 elemente (28) aufweist, mit denen Korpusku-
 larstrahlssysteme zumindest teilweise elektrisch
 verbunden sind.

28. Vorrichtung nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaltungselemente insbesondere rechnergesteuerte Korpuskularstrahlstromregler, Heizstromregler, Korpuskularstrahl-
5 lablenkverstärker, Blendenablenkverstärker, Rastergenerator, Funktionsgenerator mit Speicher, Linseneinstellmittel, Linsenspannungsverstärker, Bildsignalverstärker, Astigmatismus-
10 Spannungsverstärker und/oder Ablenkungsspannungsverstärker umfassen.
29. Vorrichtung nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaltungselemente insbesondere Rechner-Bausteine wie Zentraleinheit, Re-
15 chen-Speicher, Puffer-Speicher, Datenspeicher, und in Hardwaregespeicherte Routinen ausführende Schaltungen sind, die zur Reproduktion der Systeme, der Bilderfassung und Auswertung und zur
20 Herstellung spezieller neuartiger Systeme benötigt werden und diese ermöglichen.
30. Vorrichtung nach Anspruch 29, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaltungselemente die zur
25 Reproduktion der Systeme, der Bilderfassung und Auswertung und zur Herstellung spezieller neuartiger Systeme benötigt werden und diese ermöglichen im Multiplex-verfahren auf die einzelnen fertigenden Korpuskularstrahlssysteme zu deren
30 Steuerung sequentiell aufgeschaltet werden können.

- 5 31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 29,
dadurch gekennzeichnet, dass ein Substrat mindestens eine Fläche (32) mit einer Breite von etwa 2 μm bis etwa 2500 μm und einer Länge von etwa 10 μm bis zu etwa 100 mm für ein Korpuskularstrahlssystem (30) aufweist.
- 10 32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 27,
dadurch gekennzeichnet, dass ein Substrat (14) Anschlusspunkte (34) für Korpuskularstrahlssysteme aufweist.
- 15 33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 28,
dadurch gekennzeichnet, dass Korpuskularstrahlssysteme auf einem Substrat kammartig nebeneinander angeordnet sind.
- 20 34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 29,
dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein erstes und mindestens ein zweites Korpuskularstrahlssystem mit Mess- und Stabilisatorschaltungen versehen sind, die zum Messen und Stabilisieren von Korpuskularstrahlung dienen.
- 25 35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 30,
dadurch gekennzeichnet, dass Schaltungselemente vorgesehen sind, welche die Korpuskularstrahlssysteme mit Spannung und Strom versorgen und mittels Speicher programmierbar und einstellbar
30 sind.
36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 31,
dadurch gekennzeichnet, dass die Korpusku-

larstrahlssysteme mit Mitteln versehen sind, die zum Ausführen eines automatisierten Prüfverfahrens ausgebildet sind, welches die Funktionsfähigkeit und Stabilität der Strahlung und der Bildaufnahme und Bildauswertung gewährleistet.

37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 32, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Korpuskularstrahlssysteme mit bildanzeigenden Mitteln verbunden sind, wie einem Bildschirm oder Großbildschirm mit entsprechender Bildaufteilung für die einzelnen Korpuskularstrahlssysteme, so dass die Arbeit des Systems überwacht und sein Ergebnis für anderweitige Weiterverwendung zur Verfügung gestellt werden kann.

38. Vorrichtung nach Anspruch 33, **dadurch gekennzeichnet**, dass die bildanzeigenden Mittel dateninformationsreduzierende Routinen aufweisen, um die Überwachung zu unterstützen, und die gewährleisten, dass im Wesentlichen nur Fehler gespeichert werden müssen.

39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 34, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Korpuskularstrahlssysteme Elektronenquellen oder Gas- oder Flüssigkeitsionenquellen aufweisen.

40. Verwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18 und/oder einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 39 zur Herstellung von ebenen verteilten Bauelementen, insbesondere einer Widerstandsmatrix für eine flache Kamera,

eines Flachbildschirms mit Korpuskularstrahl-
quellen, von Linsenarrays, von Hochstrom-
Emitter-Arrays mit niedriger Schaltspannung zur
Steuerung des Stromes, von mikro-
5 Elektronenröhren aller Arten und einer Schreib-
/Leseanordnung für einen Speicher.

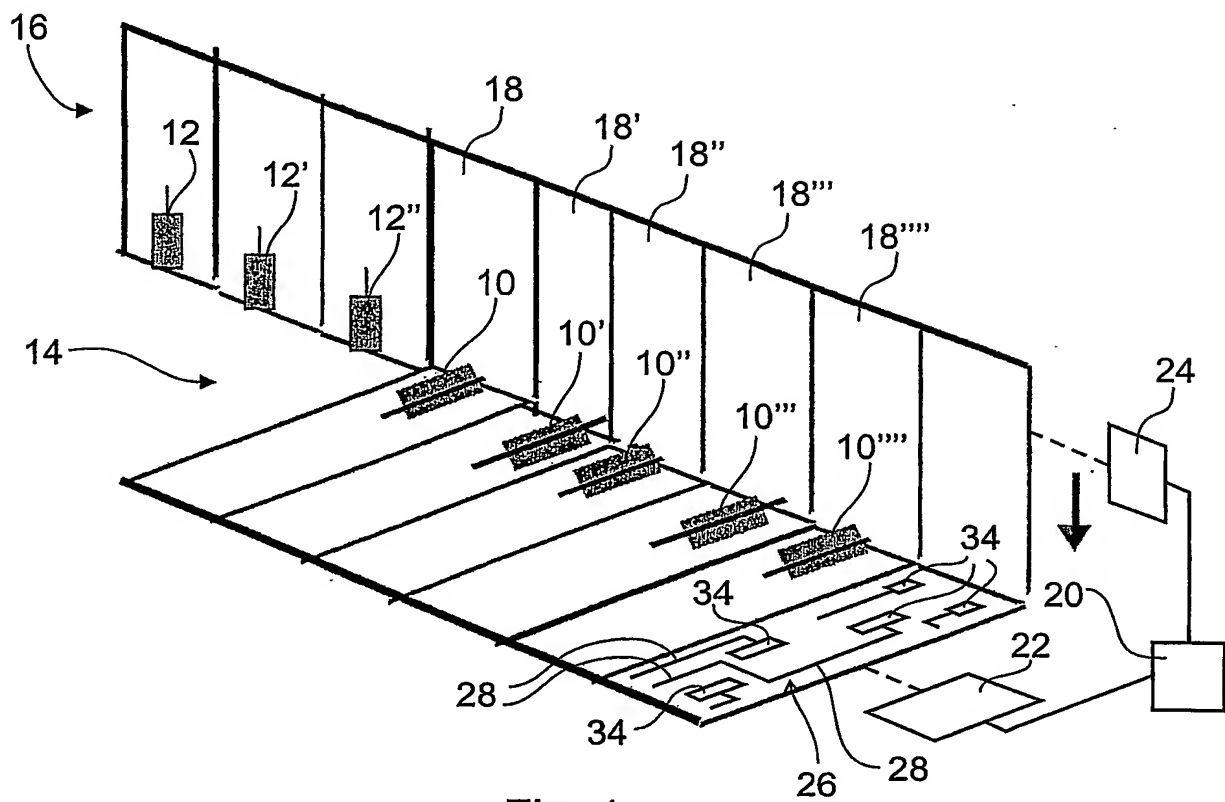


Fig. 1

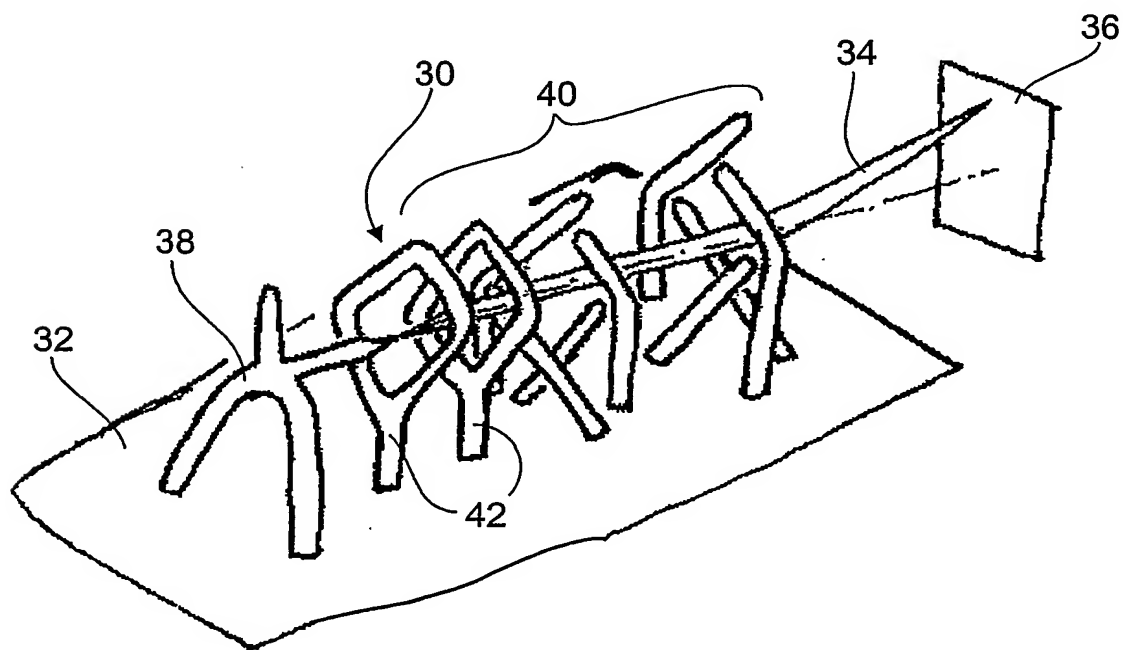


Fig. 2

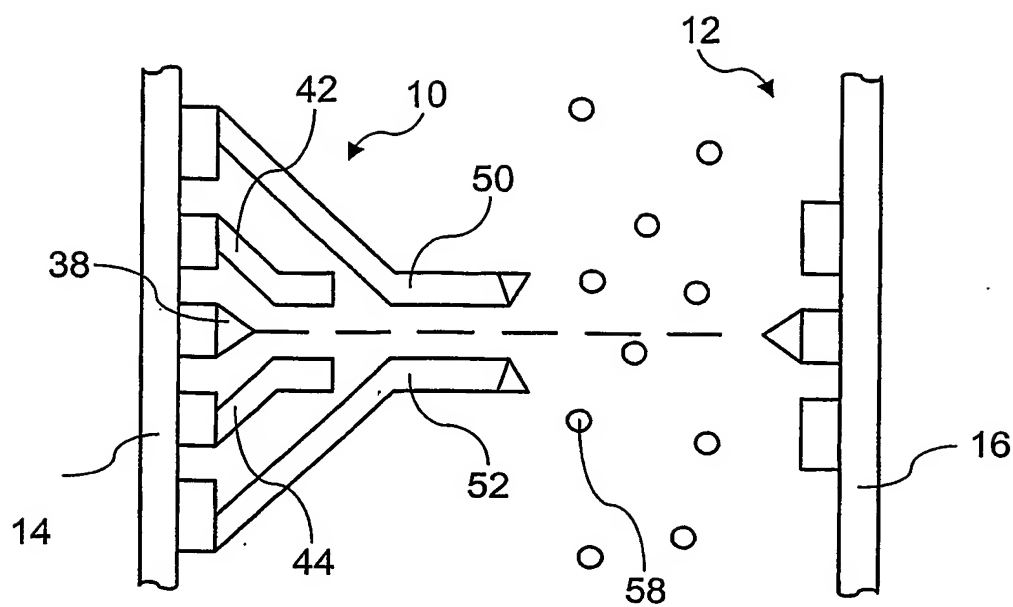


Fig. 3

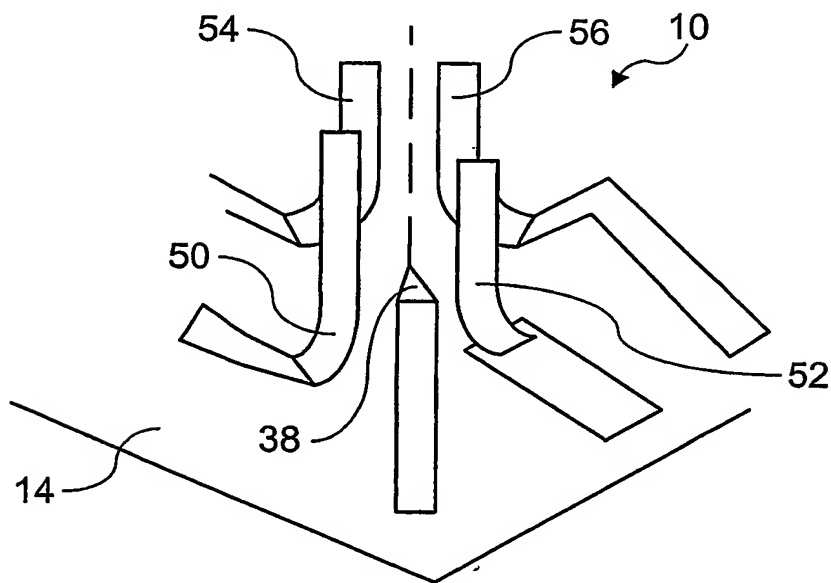


Fig. 4

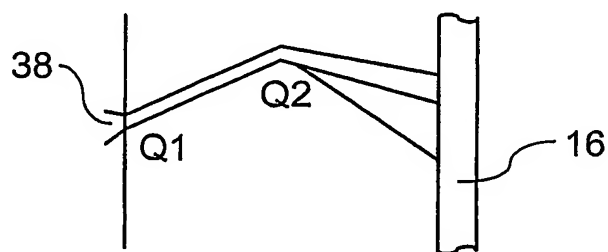


Fig. 5

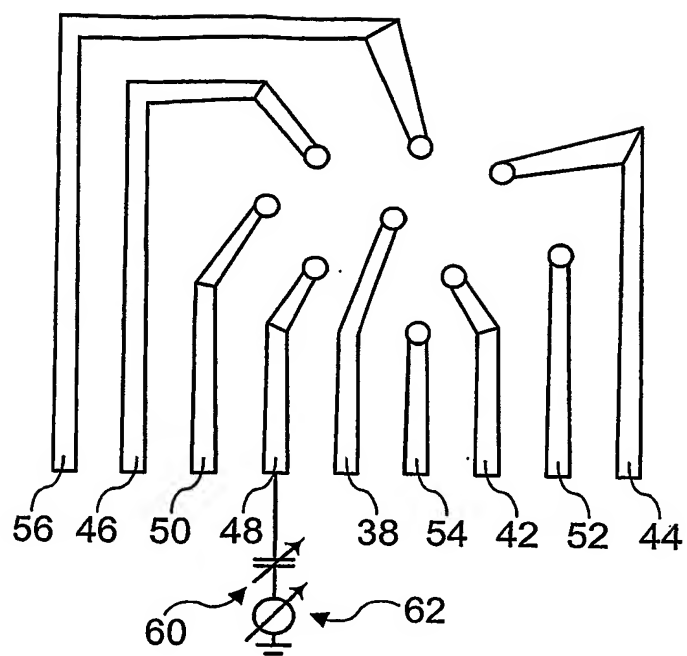


Fig. 6

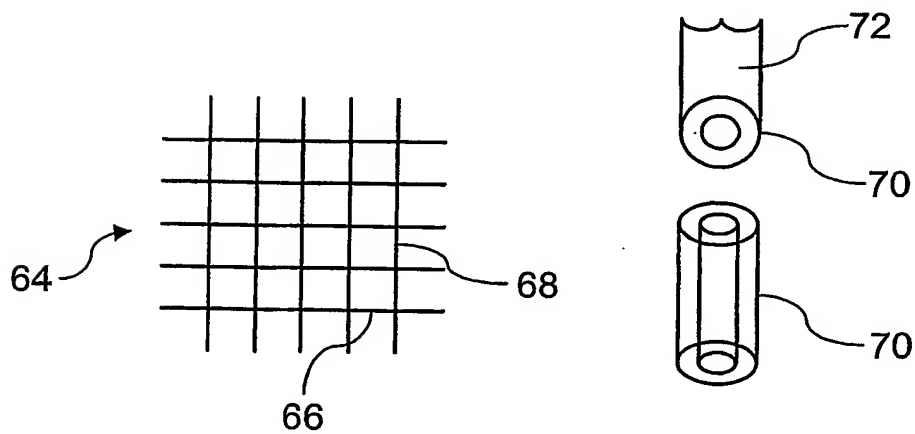


Fig. 7

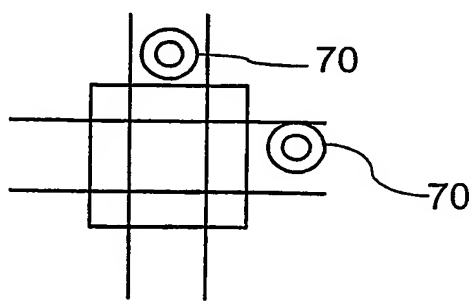


Fig. 8

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ ~~BLACK BORDERS~~
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.